

外部共振レーザーは、コンパクトなシングルモードレーザー光源として、光通信分野をはじめホログラム記録や分光分析などさまざまな理化学実験に用いられています。外部共振レーザーの特徴として、可干渉性がよいこと、数～数百 nm 程度の波長可変性や小型でシンプルな光学系が挙げられます。特に、光学系については、光源（レーザー媒質）として半導体レーザーを用いるので、安価で入手、取り扱いが容易です。また、半導体レーザーと外部共振器（回折格子）の組み合わせで、任意の波長で波長可変レーザーを作製することができるので、望みの仕様の完成品が販売されておらず、自作してみたいと思われる方もいらっしゃるかもしれません。

筆者らは、ホログラムの記録再生用に青色の外部共振レーザーを作製しました。ホログラム記録では、高い可干渉性が要求され、再生ではフォトポリマー製記録媒体の収縮による干涉縞の変形を補正するために、波長可変性が求められます。本稿では、外部共振レーザーの原理や設計について、筆者らが作製したレーザーを例にして紹介したいと思います。

外部共振レーザーでは、半導体レーザーとその外部に置かれた回折格子とで、新たな共振器を構成します。半導体レーザーから出射された光は、回折格子によって回折され、その回折角により選択された波長のみを半導体レーザーの内部に入射させて共振させます。波長を選択して共振させているので、その出射光は、元の半導体レーザー光よりも可干渉性の高い光を得ることができます。

外部共振レーザーには、外部共振器の配置によって、リットマン (Littman) 型とリットロー (Littrow) 型があります。リットマン型では回折格子で回折した光をミラーで反射させて、半導体レーザー内に再入射させます。一方、リットロー型では回折格子の回折光を直接半導体レーザー内に再入射させます。一般的に、リットマン型は共振器長が長く、調整が難

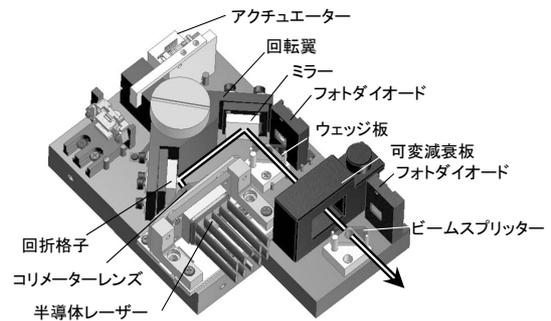


図1 外部共振レーザーの模式図。

しいことから、本稿では比較的調整が容易なリットロー型のレーザーを紹介します。

図1に筆者らが作製した共振レーザー模式図を示します。半導体レーザー（中心波長 408 nm）から発せられた光はコリメーターレンズにより平行光にされ、回折翼に取り付けられた回折格子に入射します。その1次回折光は再び半導体レーザーチップ内に戻されて、共振します。回折翼には、アクチュエーターが取り付けられており、回折格子を回転させ波長を調整できるようになっています。回折格子の0次回折光はミラーで反射され、出射光として取り出されます。回折格子とミラーは同一の回折翼に取り付けられており、波長調整によって、出射光の光軸が変動しないようになっています。ミラーで反射された光はマルチモード検出用のウェッジ板、出力調整用の可変減衰板、パワーモニター用に光を分岐する光束スプリッターを透過して、出射光として取り出されます。

ウェッジ板とフォトダイオードは外部共振レーザーの発振状態もモニターするために設置しています。外部共振レーザーでは、半導体レーザーの出力を変えると、共振器長が変わり、可干渉性が低下することがあります。そこで、ウェッジ板の反射光による干涉縞をフォトダイオードに投影し、コントラスト差をフォトダイオードで検出することで発振状態をモニターするようにしています¹⁾。

次に、外部共振器について説明します。外部共振レーザーの発振波長は半導体レーザーチップの利得を有する波長帯域、回折格子の波長選択範囲、半導体レーザーチップの両端で構成される発振モードおよび外部共振器の発振モードの重なり領域において、最も利得の高いモードが発振します。半導体レーザーチップの利得を有する領域は中心波長から数十 nm と十分大きいと考えられます。回折格子の理論的な波長選択範囲は、中心波長、回折格子の溝の本数 (3600 本/mm) およびコリメートされた光のビーム径 (2.5 mm) から、45.3 pm と求められます。実際には、レンズの取差などにより上記の値よりも広がっていると考えられます。半導体レーザーチップの両端で構成される発振モードの間隔は、実測により 30.6 pm でした。半導体レーザーの共振器長 L_{LD} (800 μm) から、半導体レーザーチップの有効屈折率 N_{eff} はおよそ 3.4 と求められます。半導体レーザーから回折格子までの距離である外部共振器長 L_{EC} は、10.3 mm としているので、このとき、 L_{LD} および N_{eff} から、外部共振器による隣り合うモードの間隔は、6.4 pm となります。

回折格子の1次回折効率は、20%のものを用いています。外部共振レーザーでは半導体レーザー単体の閾値利得よりも外部共振器の閾値利得を低くしなければ、外部共振モードでの安定した発振が得られません。外部共振器内にはコリメーターレンズでの反射・吸収やレーザーチップ内に再入射する際の損失があるので、これらの損失や必要な出射光の強度も考慮して、回折効率を決める必要があります。

また、半導体レーザー単体での閾値利得を高くし、外部共振器内の損失を低減するために、半導体レーザーチップの出射側端面に反射防止膜 (反射率 0.25%) が施されたものを用いています。

図2に外部共振レーザーのスペクトルを示します。407.53 nm において、シングルモードの出力が得られています。スペクトルの線幅は、半値全幅で

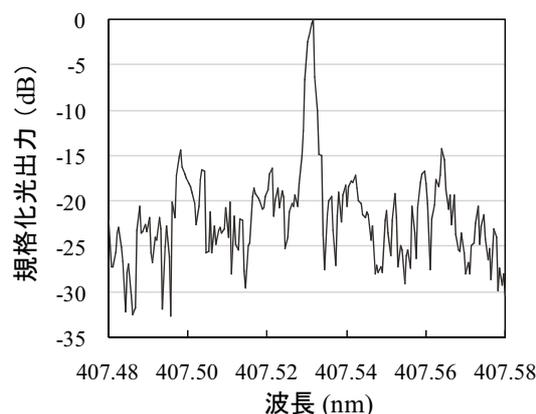


図2 外部共振レーザーのスペクトル。

7 pm です。407.50 nm と 407.56 nm 近辺において、少しノイズレベルが上がっており、サイドモードがみられます。これは、半導体レーザーチップの発振モードと考えています。回折格子の波長選択幅が設計値よりも広がっているために、隣接する発振モードの利得が上がり、このようなサイドピークとして現れたと考えられます。回折格子の波長選択幅をもっと狭くしておけば、さらにノイズレベルを低減できたのではと考えています。

波長可変性については、詳細を述べられませんが、本レーザーでは波長可変幅 5 nm となっています。

以上、外部共振レーザーの自作設計について、筆者らが作製したレーザーを例にご紹介しました。今後、外部共振レーザーを自作される方のご参考となりましたら幸いです。

(シャープ(株) 田中優紀)

文 献

- 1) M. Tanaka, S. Yoshida, Y. Nagasaka, T. Saeki, Y. Watanabe, H. Oka, T. Miyake, T. Ueyama and Y. Kurata: "Mode-hopping detection technique for external-cavity laser diodes," Jpn. J. Appl. Phys., **48** (2009) 03A039.